

Кафедра Восстановления искусственных сооружений на железных дорогах

Дисциплина

**СТРОИТЕЛЬСТВО  
ИСКУССТВЕННЫХ  
СООРУЖЕНИЙ**

Тема № 3

**Сооружение опор выше обреза  
фундамента**

Практическое занятие № 6

# Расчет элементов опалубки



## **Постановка задачи**

Планом работ в.ч. определено строительство моста через реку  $N$  с монолитными опорами.

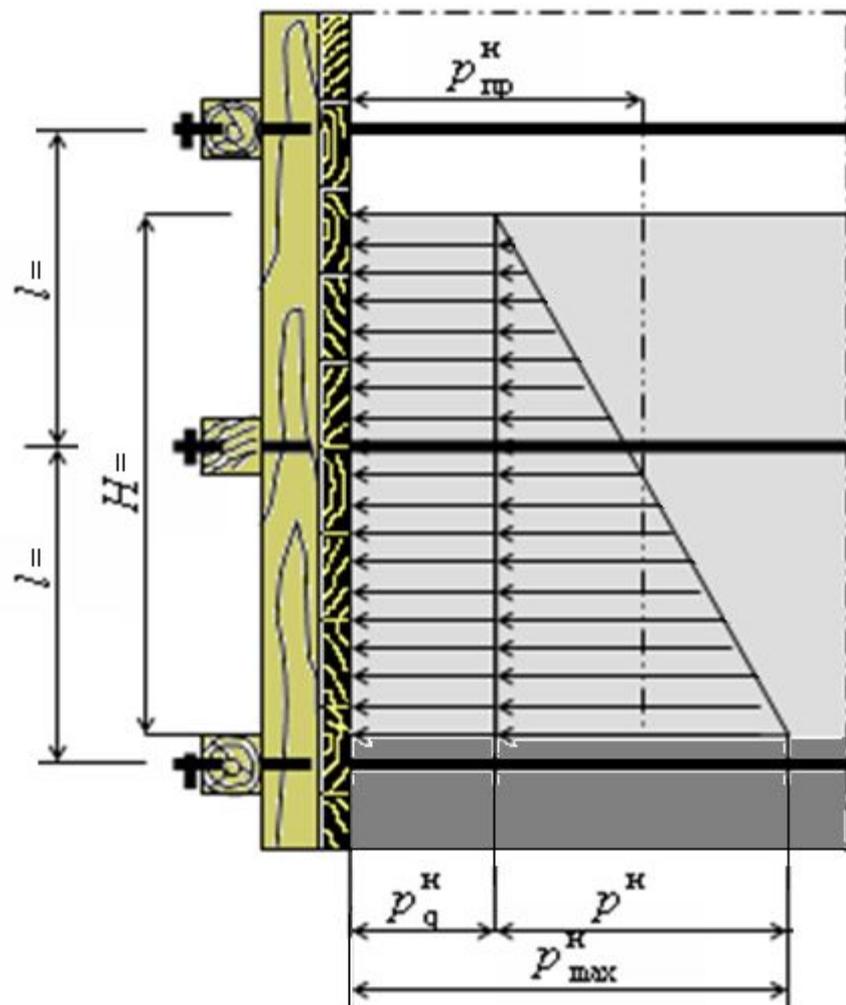
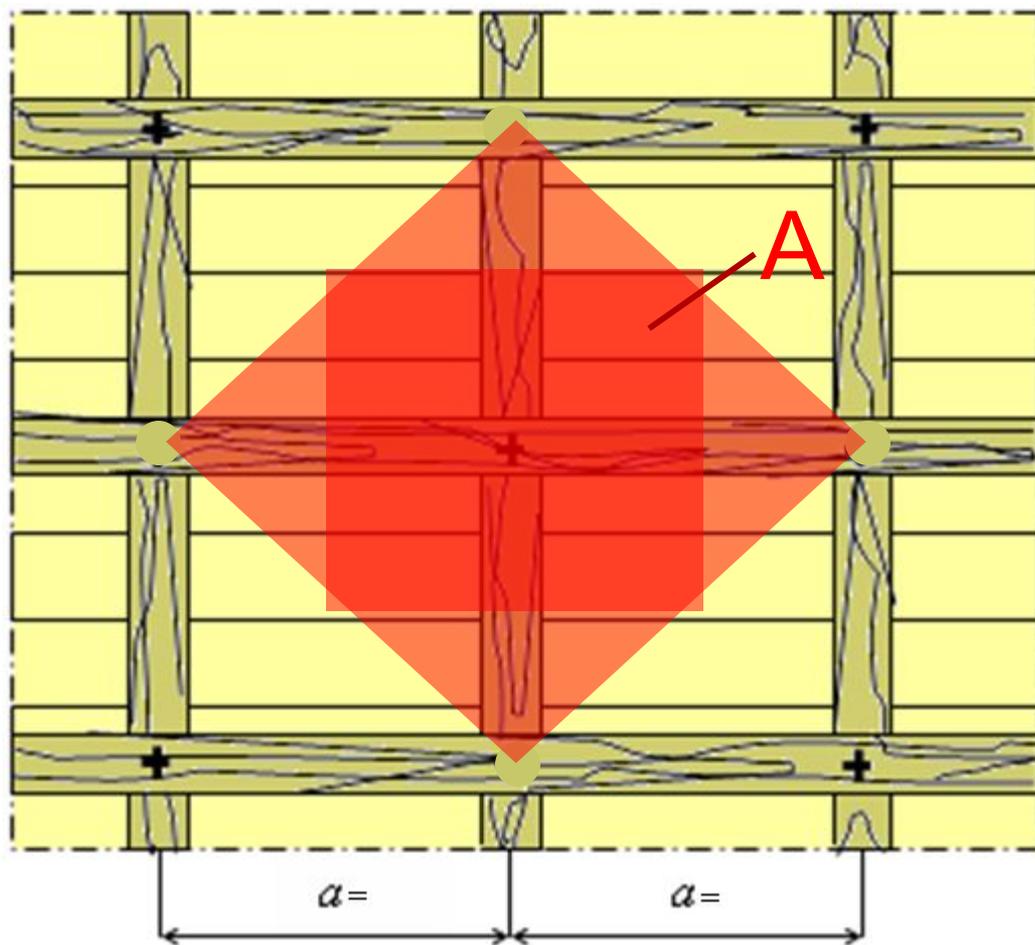
Главным инженером батальона поставлена задача: произвести расчет деревянной стационарной опалубки с горизонтальными досками обшивки для бетонирования опоры моста (исходные данные определены заданием на практическое занятие).

# Исходные данные

№ вар-та	Интенсивность бетонирования, см/час			Расстояние между горизонтальными ребрами «В», м			Расстояние между вертикальными стойками «А», м			Емкость бадьи, м <sup>3</sup>			Порода древесины			Размеры опоры, м									Район строительства		
																H <sub>оп</sub>			L <sub>оп</sub>			B <sub>оп</sub>					
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3			
1	15	16	17	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	0,4	0,8	1,2	л	е	с	4,0	4,4	6,0	8,0	9,0	10,0	4,0	4,5	5,0	5	6	7
2	18	19	20	1,1	1,2	1,3	1,1	1,2	0,8	0,5	0,9	1,3	к	п	л	5,5	6,0	6,5	8,8	9,6	6,4	4,4	4,8	3,2	4	5	6
3	19	18	17	1,2	1,3	1,4	0,9	1,0	1,1	0,6	1,0	1,4	е	с	к	7,2	7,8	8,4	8,1	9,0	9,9	2,7	3,0	3,3	3	2	1
4	16	15	16	1,3	1,4	1,0	1,2	0,8	0,9	0,7	1,1	1,5	п	л	е	5,2	5,6	5,0	7,2	6,4	7,2	3,6	3,2	3,6	4	3	2
5	17	18	19	1,4	1,0	1,1	1,0	1,1	1,2	1,2	0,4	0,8	с	к	п	5,6	6,0	6,6	8,0	8,8	10,8	4,0	4,4	3,6	5	6	7
6	20	19	18	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	1,3	0,5	0,9	л	е	с	7,0	7,7	8,4	8,0	9,0	12,0	4,0	4,5	4,0	4	5	6
7	17	16	15	1,1	1,2	1,3	1,1	1,2	0,8	1,4	0,6	1,0	к	п	л	4,4	4,8	5,2	9,9	7,2	6,4	3,3	3,6	3,2	3	2	1
8	16	17	18	1,2	1,3	1,4	0,9	1,0	1,1	1,5	0,7	1,1	е	с	к	6,0	6,5	7,0	10,8	8,0	8,8	3,6	4,0	4,4	4	3	2
9	19	20	19	1,3	1,4	1,0	1,2	0,8	0,9	0,8	1,2	0,4	п	л	е	7,8	7,0	8,0	7,2	9,6	10,8	3,6	3,2	3,6	5	6	7
10	18	17	16	1,4	1,0	1,1	1,0	1,1	1,2	0,9	1,3	0,5	с	к	п	4,2	6,0	5,5	9,0	9,9	10,8	3,0	3,3	3,6	4	5	6
11	15	16	17	1,0	1,1	1,2	0,8	0,9	1,0	1,0	1,4	0,6	л	е	с	5,0	6,6	7,2	6,4	7,2	6,0	3,2	3,6	3,0	3	2	1
12	18	19	20	1,1	1,2	1,3	1,1	1,2	0,8	1,1	1,5	0,7	к	п	л	7,7	7,2	7,8	6,6	7,2	6,4	3,3	3,6	3,2	4	3	2
13	19	18	19	1,2	1,3	1,4	0,9	1,0	1,1	0,4	0,9	1,4	е	с	к	4,8	3,9	8,4	10,8	9,0	13,2	3,6	3,0	4,4	5	6	7
14	20	19	18	1,3	1,4	1,0	1,2	0,8	0,9	0,5	1,0	1,5	п	л	е	5,2	8,4	7,0	7,2	8,0	9,0	3,6	4,0	4,5	4	5	6
15	17	16	15	1,4	1,1	1,1	1,0	1,1	1,2	0,6	1,1	1,6	с	к	п	8,4	7,7	8,8	6,0	8,8	7,2	3,0	4,4	3,6	3	2	1
16	16	17	18	1,3	1,0	1,2	1,1	1,0	0,9	0,7	1,2	1,7	л	е	с	5,2	5,0	7,2	8,8	8,0	7,2	4,4	4,0	3,6	4	3	2
17	19	20	15	1,2	1,1	1,3	0,8	1,2	1,1	1,4	0,4	0,9	к	п	л	6,0	6,6	7,8	8,0	10,8	13,2	4,0	3,6	4,4	5	6	7
18	16	17	18	1,1	1,2	1,4	1,0	0,9	0,8	1,5	0,5	1,0	е	с	к	7,7	8,4	8,4	9,0	10,8	12,0	3,0	3,6	4,0	4	5	6
19	19	20	15	1,0	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,6	0,6	1,1	п	л	е	5,0	6,5	7,8	7,2	6,6	8,0	3,6	3,3	4,0	3	2	1
20	16	17	18	1,4	1,4	1,2	0,9	0,8	1,2	1,7	0,7	1,2	с	к	п	7,0	8,4	7,2	9,0	8,0	7,2	4,5	4,0	3,6	4	3	2
21	19	20	15	1,3	1,0	1,1	1,1	1,0	0,9	0,9	1,4	0,4	л	е	с	6,5	7,0	6,6	9,9	12,0	9,0	3,3	4,0	4,5	5	6	7
22	16	17	18	1,2	1,1	1,0	0,8	1,2	1,1	1,0	1,5	0,5	к	п	л	7,2	5,5	5,0	9,6	10,8	9,9	3,2	3,6	3,3	4	5	6
23	19	20	15	1,1	1,2	1,4	1,0	0,9	0,8	1,1	1,6	0,6	е	с	к	7,7	4,8	8,4	9,0	7,2	6,4	3,0	3,6	3,2	3	2	1
24	16	17	18	1,0	1,3	1,3	1,2	1,1	1,0	1,2	1,7	0,7	п	л	е	6,0	5,2	6,5	7,2	6,6	6,0	3,6	3,3	3,0	4	3	2
25	19	20	15	1,4	1,4	1,2	0,9	0,8	1,2	1,1	1,2	1,4	с	к	п	8,4	7,0	7,2	7,2	12,0	10,8	3,6	4,0	3,6	5	6	7

**Введение**

# Конструктивная схема опалубки (при горизонтальном расположении досок обшивки опалубки)



## Учебные вопросы:

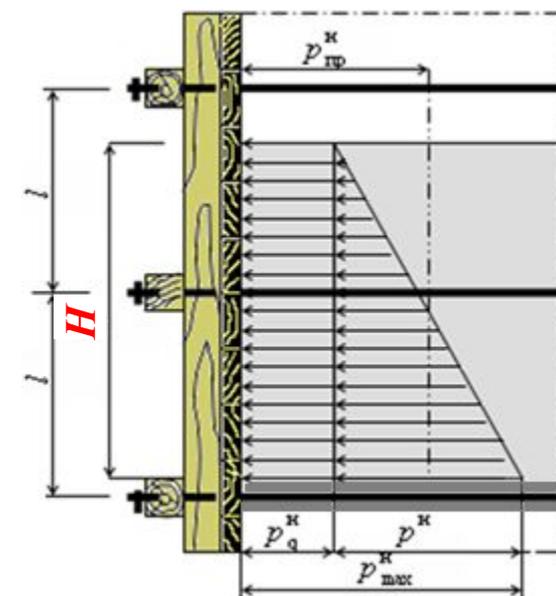
- 1. Определение нагрузок действующих на боковую опалубку**
- 2. Подбор сечений элементов опалубки**
- 3. Проверка опалубки на устойчивость положения**



# Литература

1. Учебное пособие " Проектирование вспомогательных устройств для строительства мостов", ВИ (ЖДВ и ВОСО), 2013 г.
2. Учебник «Строительство искусственных сооружений», ВИ (ЖДВ и ВОСО), 2013 г.





## Высота расчетного слоя бетона:

$$H = 4h_0 = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ м}$$

но не более слоя, уложенного в течение четырех часов, при этом для бетонной смеси, уплотняемой внутренними вибраторами  $H \leq R_B$  ( $h_0$  – см. задание);

где  $R_B = 0,75$  м - радиус действия внутреннего вибратора (УП п. 2.10).

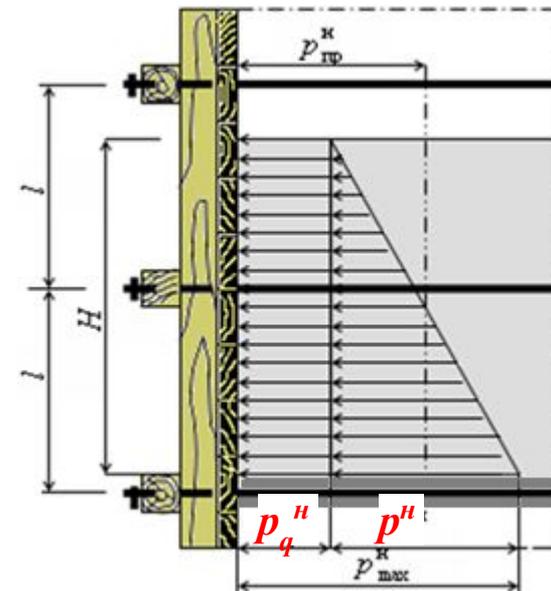
Высота расчетного слоя бетона принята равной

$$H = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ м}$$



## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК ДЕЙСТВУЮЩИХ НА БОКОВУЮ ОПАЛУБКУ

# Определение нормативных нагрузок



- от свежеложенного слоя бетонной смеси:

$$p^H = H \cdot \gamma_{\text{БС}} = \text{____}, \text{ кгс/м}^2,$$

где  $\gamma_{\text{БС}} = 2350 \text{ кгс/м}^3$  - объемный вес бетонной смеси;

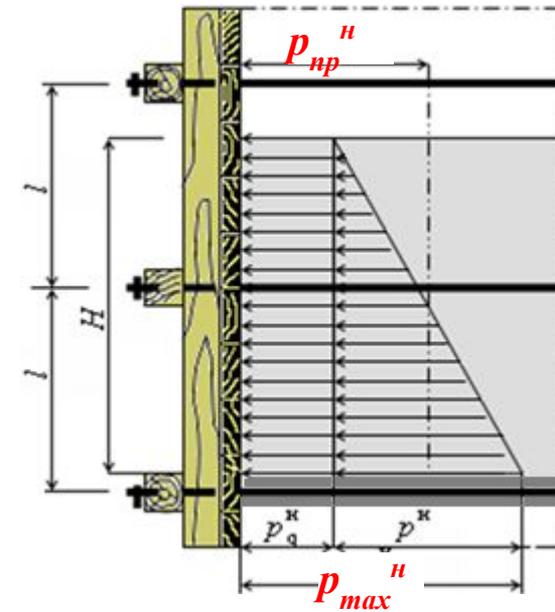
- от сотрясения при выгрузке бетонной смеси:

$$P_q^H = \text{____}, \text{ кгс/м}^2$$

где  $P_q^H = 400, 600 \text{ кгс/м}^2$  (таблица 6, стр. 22 УП);



**1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК ДЕЙСТВУЮЩИХ НА БОКОВУЮ ОПАЛУБКУ**



- суммарная на доски опалубки:

$$P_{max}^H \equiv P_q^H + P^H =$$

- приведенная нагрузка:

$$P_{np}^H \equiv P_q^H + 0,5 P^H =$$

- на вертикальные стойки опалубки:

$$P_{ст}^H \equiv P_{np}^H \cdot a =$$



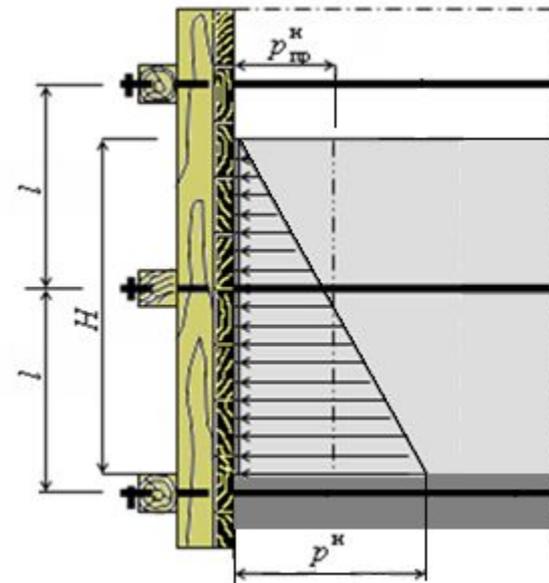
## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК ДЕЙСТВУЮЩИХ НА БОКОВУЮ ОПАЛУБКУ

- для расчета досок на прогиб:

$$p_{f.дос}^H \text{ кг/м}^2 =$$

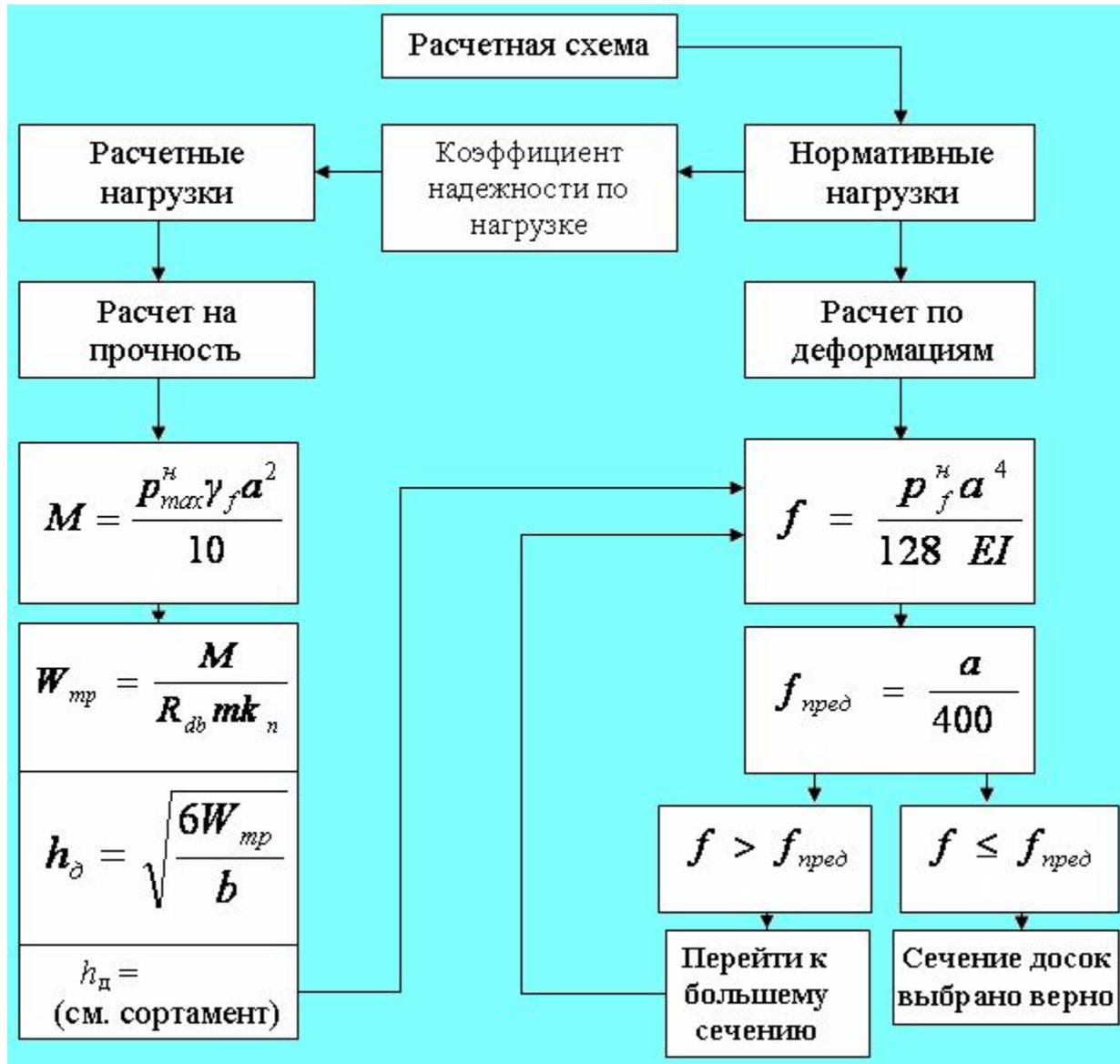
- для расчета стоек на прогиб:

$$p_{f.верт}^H = p_{fnp}^H \cdot a = 0,5 p^H \cdot a =$$



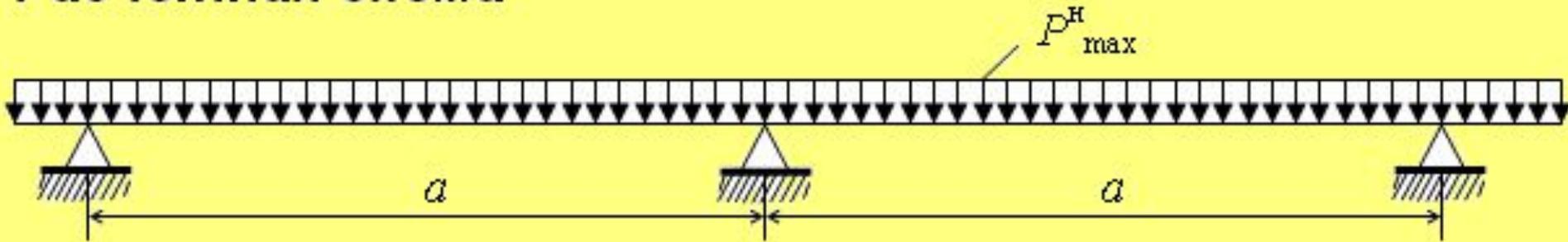
## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАГРУЗОК ДЕЙСТВУЮЩИХ НА БОКОВУЮ ОПАЛУБКУ

# А. Подбор сечения горизонтальных досок



## 2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ

## Расчетная схема



- ▶ Наибольший изгибающий момент в расчетном сечении досок обшивки опалубки:

$$M = \frac{P_{max}^H \gamma_f a^2}{10}, \text{ кгс}\cdot\text{м} =$$

где  $\gamma_f = 1.3$  (таблица 11, стр. 26 УП);



## 2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ

♦ Требуемый момент сопротивления сечения досок:

$$W_{mp} = \frac{M}{R_{db} m k_n} =$$

где  $R_{db} = 130 \text{ кгс/см}^2$  (таблица 13, стр.29 УП),

$m = 1,15$  (таблица 1, стр. 8 УП),

$k_n$  - переходной коэффициент, зависящий от породы древесины (таблица 14, стр. 31 УП);

♦ Толщ

Породы древесины	Коэффициент перехода $k_n$		
	Изгиб, растяжение, сжатие и смятие вдоль волокон	Сжатие и смятие поперек волокон	Скалывание
Лиственница	1,2	1,2	1,0
Кедр сибирский	0,9	0,9	0,9
Пихта	0,8	0,8	0,8
Дуб	1,3	2,0	1,3
Береза, бук	1,1	1,6	1,3
Ясень, клен, граб	1,3	2,0	1,6
Осина, тополь	0,8	1,0	0,8

где  $b$

То

значе

$h_d = 1$

ему

## 2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ



## *Прогиб досок подобранного сечения:*

$$f = \frac{P_{f.гор}^n a^4}{128EI} \leq f_{пред}$$

где  $E = 10^5$ , кгс/см<sup>2</sup> - модуль упругости древесины (п. 3.2.6, стр. 32 УП),

$$I = \frac{b \cdot h_{\delta}^3}{12}, \text{ см}^4 - \text{ момент инерции прямоугольного}$$

сечения досок,

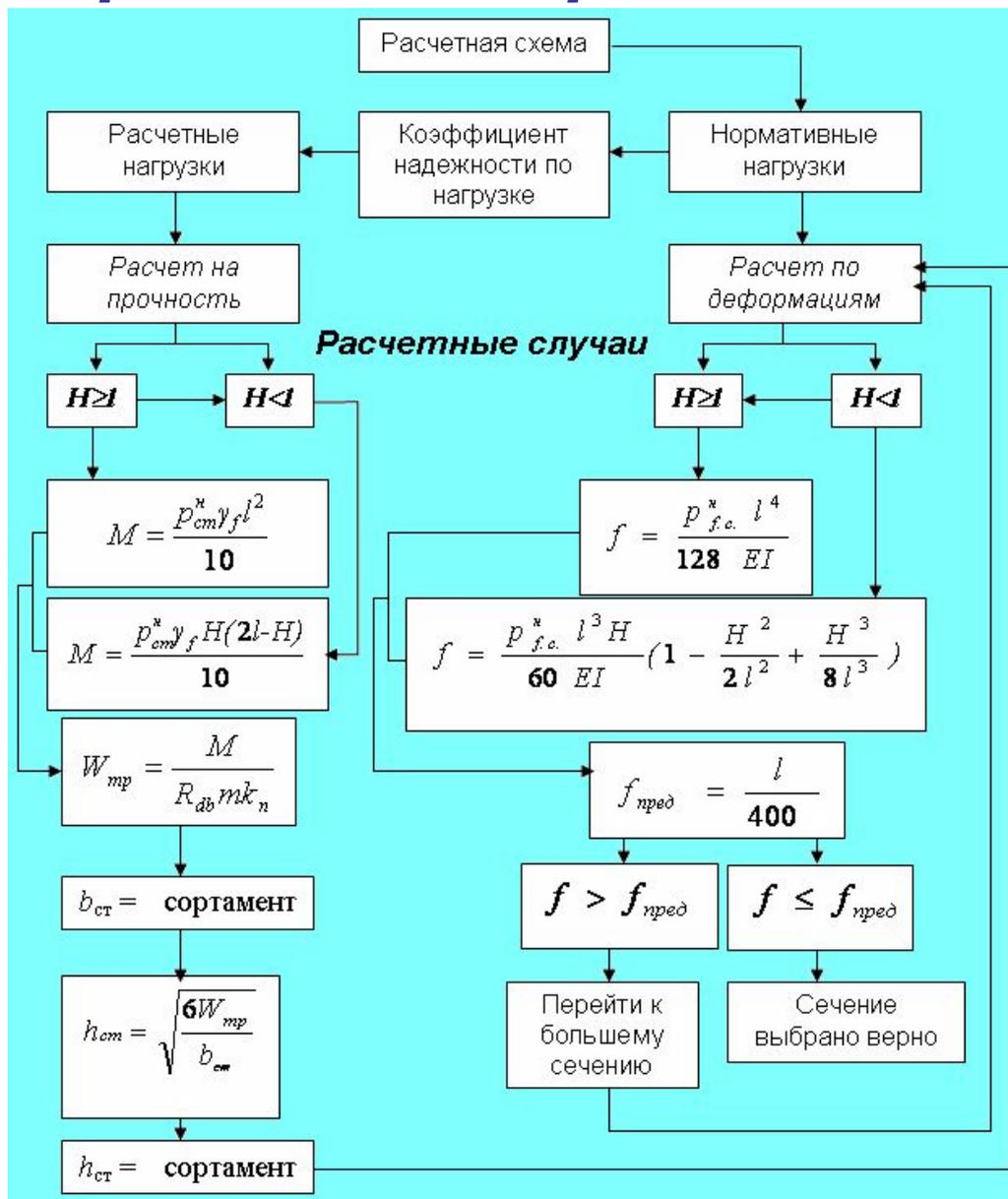
$$f_{пред} = \frac{a}{400}, \text{ см (таблица 2, стр. 11 УП);}$$

*Если данное условие не выполнено, следует принять большую толщину доски и вновь проверить величину прогиба*



## **2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ**

# Б. Подбор сечения вертикальных стоек

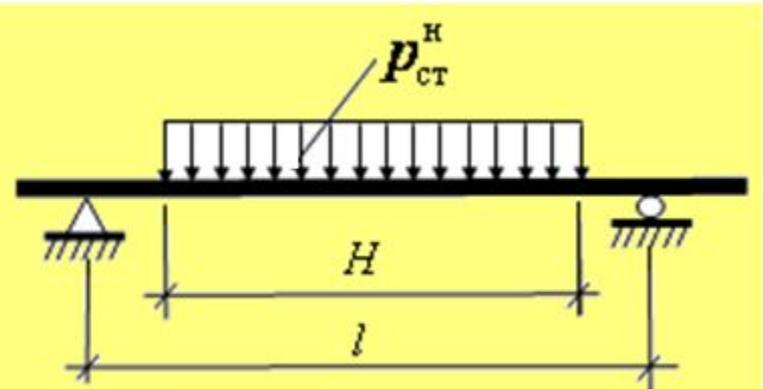
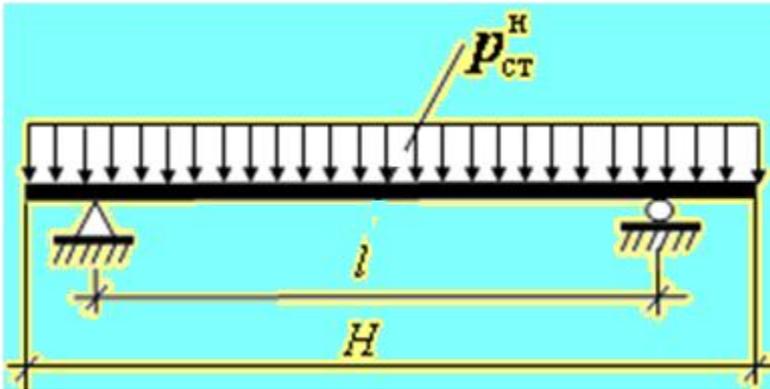


## 2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ

# Расчетные схемы

1 случай:  $H \geq l$

2 случай:  $H < l$



**Наибольший изгибающий момент в расчетном сечении стойки:**

♦ 1 случай

$$M = \frac{P_{ст}^H \gamma_f l^2}{10} = \text{---}, \quad \text{КГС} \cdot \text{М}$$

♦ 2 случай

$$M = \frac{P_{ст}^H \gamma_f H(2l-H)}{10} = \text{---}, \quad \text{КГС} \cdot \text{М}$$

где  $\gamma_f = 1,3$  (таблица 11, стр. 26 УП);

**2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ**

## Требуемый момент сопротивления сечения стойки:

$$W_{mp} = \frac{M}{R_{db} m k_n} = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}^3$$

где  $R_{db} = 150 \text{ кгс/см}^2$  (таблица 13, стр.29 УП),

$m = 1,15$  (таблица 1, стр. 8 УП),

$k_n$  – таблица 14, стр. 31 УП.

По сортаменту пиломатериалов (приложение 17, стр. 153 УП )  
задаться шириной сечения бруса  $b_{cm}$ :

$b_{cm}$ , мм	$h_{cm}$ , мм								
50	75	100	125	150	175	200	225	250	275
60	75	100	125	150	175	200	225	250	275
75	75	100	125	150	175	200	225	250	275
100	100	125	150	175	200	225	250	275	300

Высота сечения бруса  $h_{ct}$ :

$$h_{cm} = \sqrt{\frac{6W_{mp}}{b_{cm}}} = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}$$

$$h_{cm} \geq b_{cm} \Rightarrow h_{cm} = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}$$



## 2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ

Прогиб стоек подобранного сечения для различных расчетных случаев:

♦1 случай

$$f = \frac{P_{f.верт}^H l^4}{128EI} = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}$$

♦2 случай

$$f = \frac{P_{f.верт}^H l^3 H}{60EI} \left(1 - \frac{H^2}{2l^2} + \frac{H^3}{8l^3}\right) = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}$$

где  $E = 10^5$ , кгс/см<sup>2</sup> - модуль упругости древесины (п. 3.2.6, стр. 32 УП),  
 $I$ , см<sup>4</sup> - момент инерции прямоугольного сечения стойки:

$$I = \frac{b_{см} \cdot h_{см}^3}{12} = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}^4$$

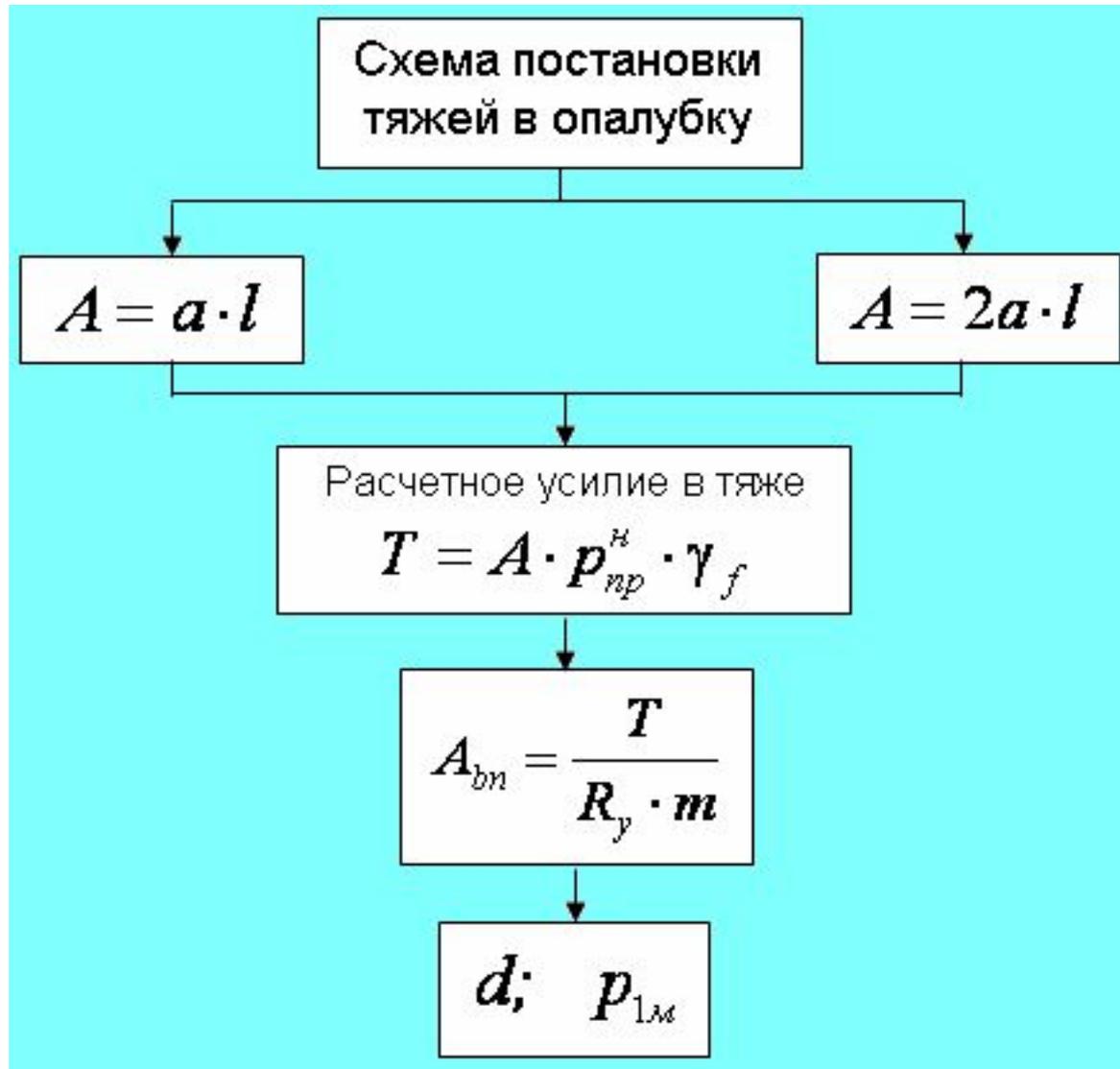
$$f_{пред} = \frac{l}{400} \text{ (таблица 2, стр. 11 УП)} \text{ см}$$

*Если данное условие не выполнено, следует принять большие размеры поперечного сечения стойки и вновь проверить величину прогиба.*



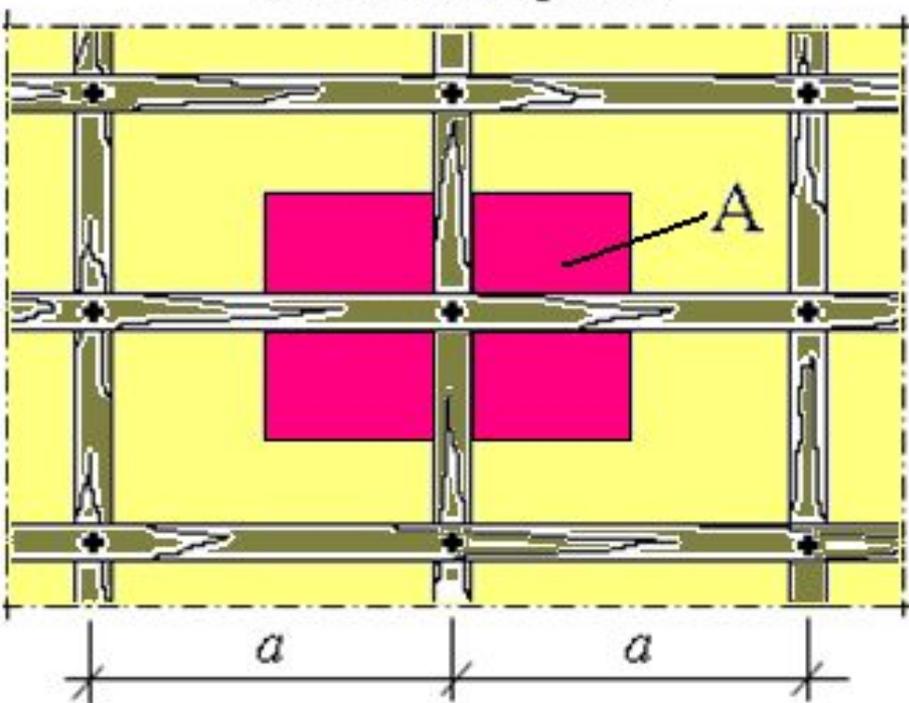
## **2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ**

## В. Подбор сечения тяжей

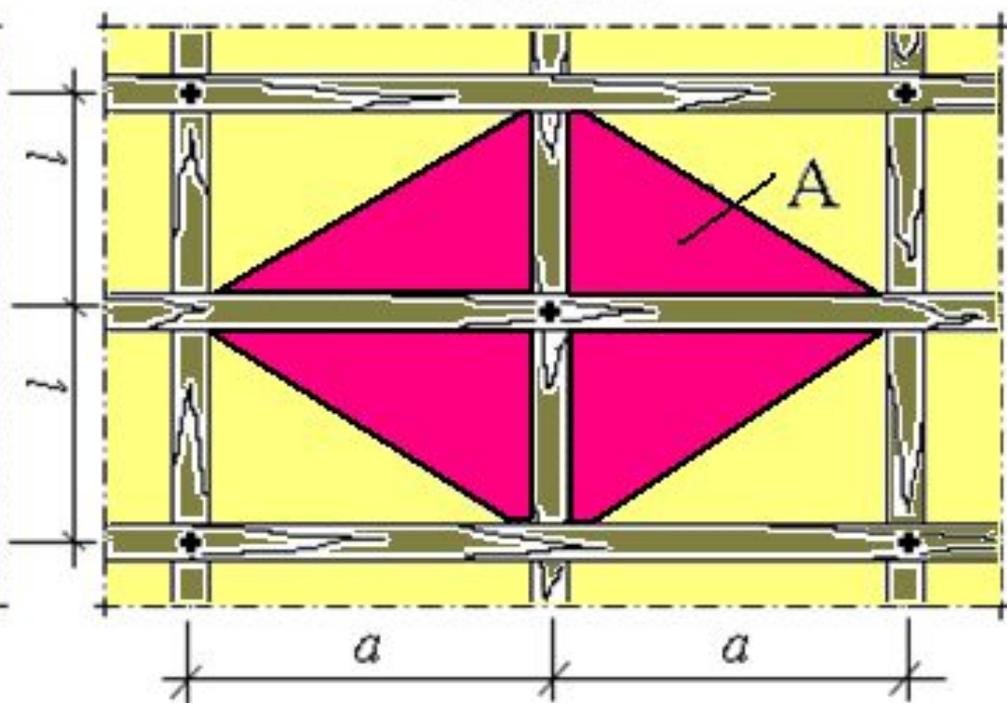


## Схема определения площадей давлений, приходящихся на один тяж, при установке тяжей:

в каждом пересечении ребер и стоек опалубки



через пересечение ребра со стойкой



Площадь опалубки, приходящаяся на один тяж:

$$A = a \cdot l = \underline{\hspace{2cm}},$$

$\text{м}^2$

$$A = 4 \cdot 0,5a \cdot l = 2a \cdot l = \underline{\hspace{2cm}},$$

$\text{м}^2$



## 2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ

Расчетное усилие в тяже:

$$T = A \cdot p_{np}^H \cdot \gamma_f = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ КГС}$$

где  $\gamma_f = 1,3$  (таблица 11, стр. 26 УП).

Площадь сечения тяжа нетто:

$$A_{bn} = \frac{T}{R_u \cdot m} = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ см}^2$$

где  $R_u = 2200 \text{ кгс/см}^2$  - расчетное сопротивление прокатной стали (таблица 12, стр. 28 УП),

$m = 0,8$  - (п. 3.2.5, стр. 32 УП).

Принять диаметр и вес 1 м стержня:

$d$ , мм	12	16	20	22	24	30	36
$A_{bn}$ , см <sup>2</sup>	0,76	1,57	2,45	3,03	3,52	5,60	8,26
$p_{1м}$ , кгс	0,89	1,58	2,47	2,98	3,55	5,55	7,99

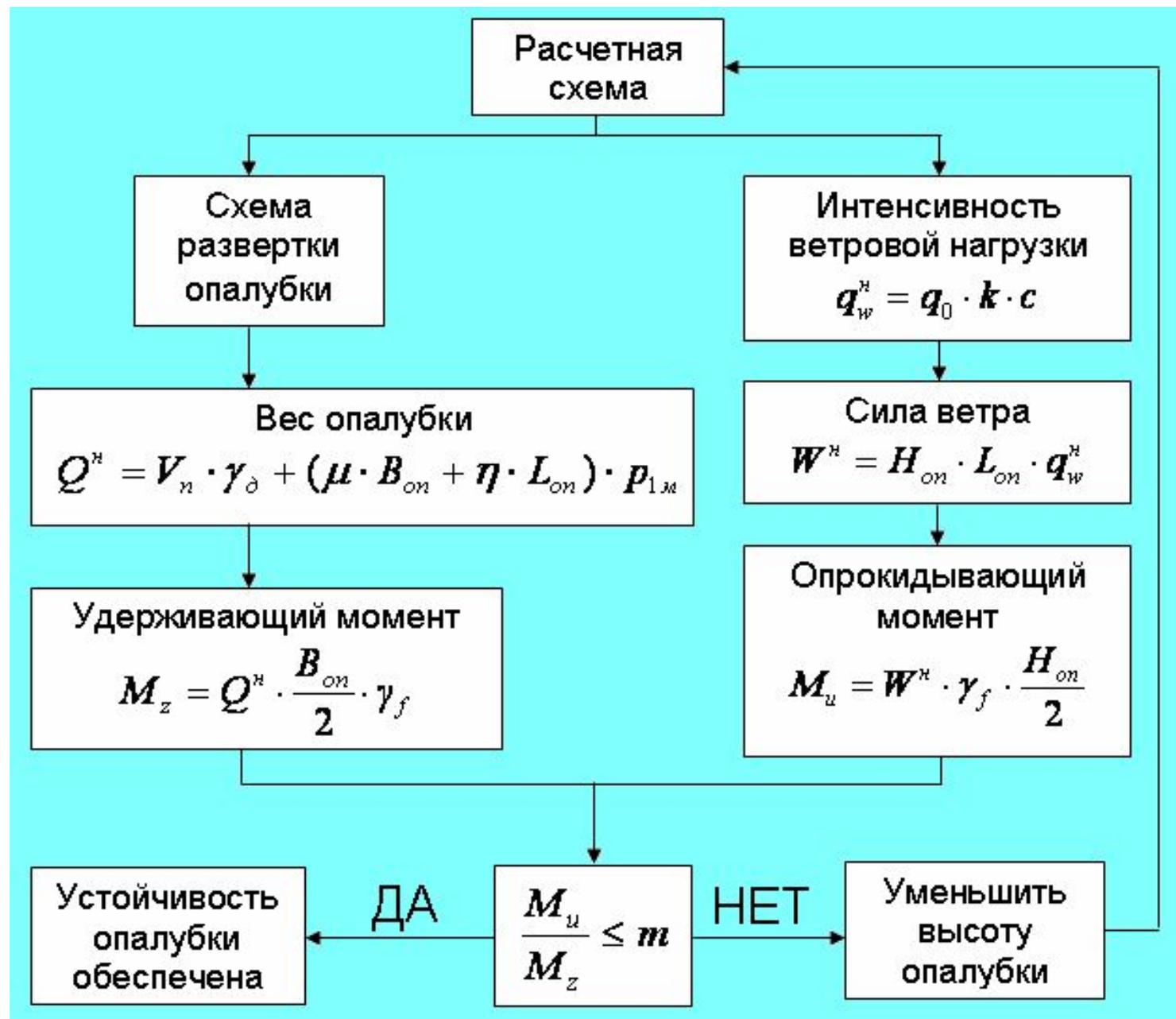
$d = \underline{\hspace{2cm}}$ , мм;  $p_{1м} = \underline{\hspace{2cm}}$ , кгс



## 2. ПОДБОР СЕЧЕНИЙ ЭЛЕМЕНТОВ ОПАЛУБКИ

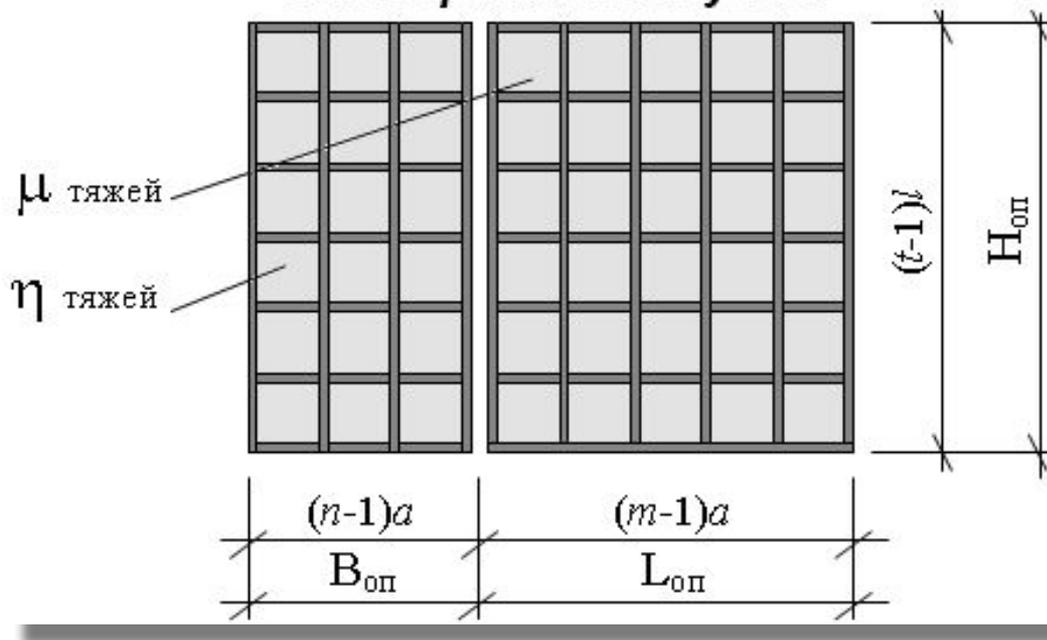
# **Вывод:**

**Вывод должен содержать  
размеры подобранных  
сечений досок обшивки,  
вертикальных стоек и  
тяжей**



### 3. ПРОВЕРКА ОПАЛУБКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ

## Развертка опалубки



По заданию размеры опалубки  $B_{on}$ ,  $L_{on}$  кратные расстоянию между вертикальными стойками « $a$ », а  $H_{on}$  – расстоянию между горизонтальными ребрами – « $l$ »

горизонтальных ребер

$$t = \frac{H_{on}}{l} + 1 = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ шт.},$$

тяжей

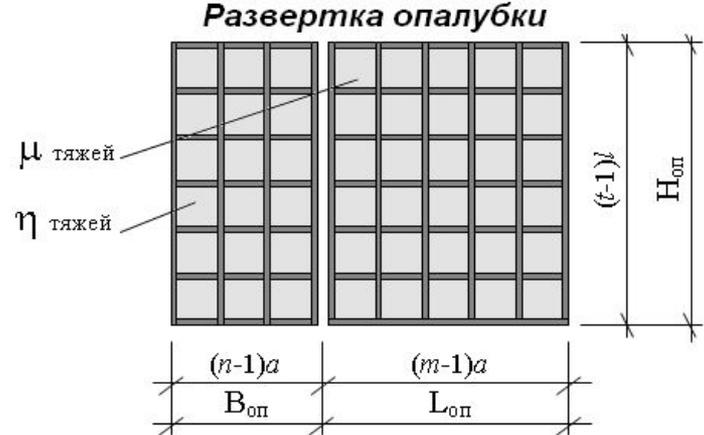
$$\eta = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ шт.}; \quad \mu = \underline{\hspace{2cm}}, \text{ шт.}$$



## 3. ПРОВЕРКА ОПАЛУБКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ

**Объем:**

✓ досок обшивки



$$V_{\partial} = 2(B_{оп} + L_{оп}) \cdot H_{оп} \cdot h_{Д} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{М}^3$$

✓ вертикальных стоек

$$V_{см} = 2(n + m) \cdot h_{см} \cdot b_{см} \cdot H_{оп} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{М}^3$$

✓ горизонтальных ребер (сечение ребер принять равным сечению стоек)

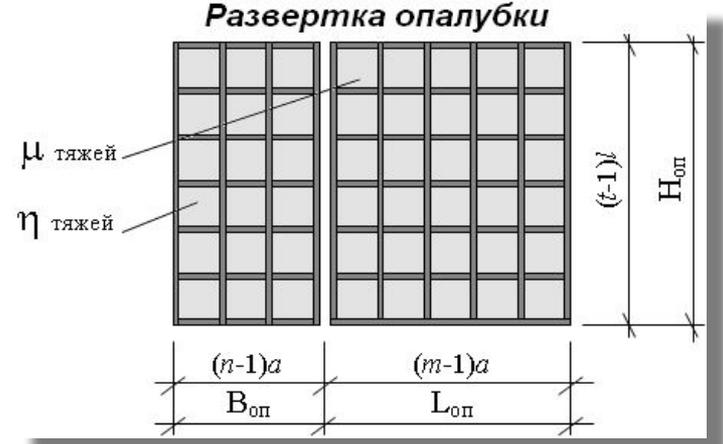
$$V_p = 2(B_{оп} + L_{оп}) \cdot t \cdot h_{см} \cdot b_{см} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{М}^3$$

✓ пиломатериалов

$$V_n = V_{\partial} + V_{см} + V_p = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{М}^3$$



**3. ПРОВЕРКА ОПАЛУБКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ**



**Вес:**

пиломатериалов

$$Q_n^H = V_n \cdot \gamma_D = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{КГС},$$

где  $\gamma_D = 600 \text{ кгс/м}^3$  - объемный вес дерева,

тяжей

$$Q_m^H = (\eta \cdot L_{оп} + \mu \cdot B_{оп}) \cdot p_{1m} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{КГС},$$

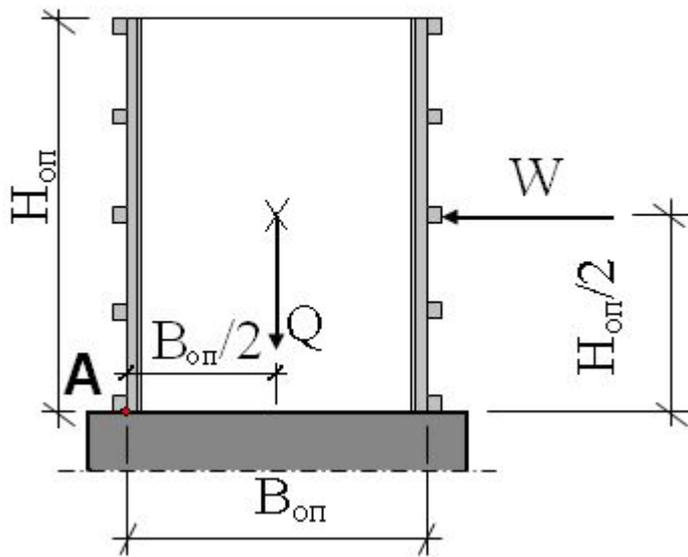
опалубки

$$Q^H = Q_n^H + Q_m^H = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{КГС},$$



**3. ПРОВЕРКА ОПАЛУБКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ**

Расчетная схема



### Удерживающий момент:

$$M_z = Q^H \cdot \gamma_f \cdot \frac{B_{оп}}{2} = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{КГС} \cdot \text{М},$$

где  $\gamma_f = 0,9$  - коэффициент надежности по нагрузке (таблица 11, стр. 26 УП).

### Нагрузка от ветрового воздействия на смонтированную опалубку:

#### •интенсивность нагрузки

$$q_w^H = q_0 \cdot k \cdot c = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \frac{\text{КГС}}{\text{М}^2}$$

где  $q_0, k, c$  - определяют по таблицам 7,8,9 стр. 24 УП соответственно;

#### •сила ветра

$$W^H = H_{оп} \cdot L_{оп} \cdot q_w^H = \underline{\hspace{2cm}}, \quad \text{КГС},$$

где  $H_{оп}$  - высота смонтированной части опалубки,

$L_{оп}$  - наибольший размер опоры в плане.



## 3. ПРОВЕРКА ОПАЛУБКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ

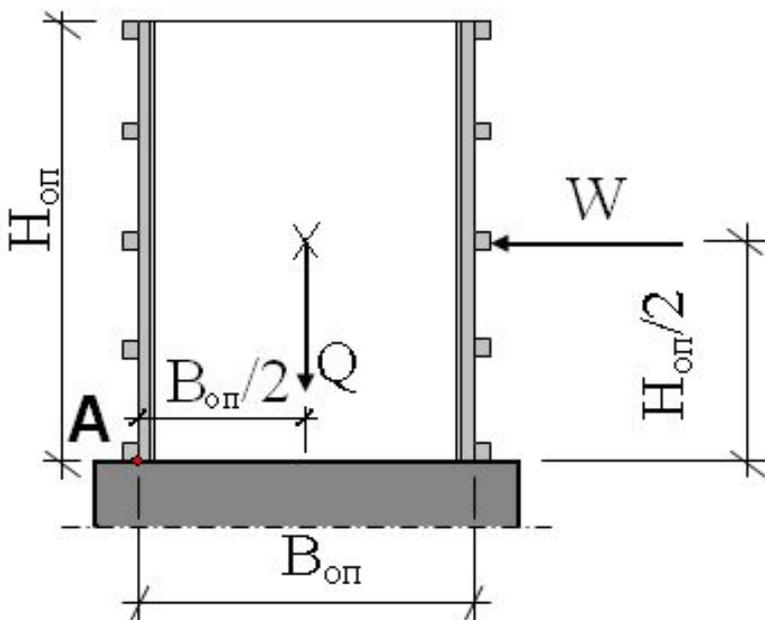
# Таблица 9 - Величины аэродинамического коэффициента С (скоростного напора ветра по высоте сооружения)



Наименование элементов	Аэродинамический коэффициент С
Опалубки и подобные элементы, составные в горизонтальном сечении	+ 0,8 - 0,6
Сплошные элементы прямоугольного сечения	$C=0,8-(-0,6)=1,4$
Элементы круглого сечения	1,2
Ванты и оттяжки	1,1
Буксиры, баржи, суда	1,4 (поперек) 0,8 (вдоль)
Плашкоуты	1,4
Горизонтальные поверхности (зоны отсоса);	- 0,4
Решетчатые конструкции при 2-х плоскостях	0,8

## 3. ПРОВЕРКА ОПАЛУБКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ

### Расчетная схема



### Опрокидывающий момент:

$$M_u = W^H \cdot \gamma_f \cdot \frac{H_{оп}}{2} = \text{---}, \quad \text{кгс} \cdot \text{м}$$

где  $\gamma_f = 1$  (таблица 11, стр. 26 УП).

### Условие устойчивости смонтированной опалубки:

$$\frac{M_u}{M_z} \leq m$$

где  $m = 0,9$  (таблица 1, стр. 8 УП).

При недостаточной устойчивости опалубки ее следует разбить по высоте на ярусы, кратные расстоянию между горизонтальными ребрами ( $l$ ) и произвести повторную проверку устойчивости.



## 3. ПРОВЕРКА ОПАЛУБКИ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ

# Задание на самоподготовку

Закончить расчеты,  
оформить задание и сдать на  
проверку

